



**Gewässerkundlicher Landesdienst Thüringen**

# **Anforderungen an Hydrologische Gutachten**

- Fassung: November 2009 -



Talsperre Weida (Foto: TLUG, Okt. 2009)

## Impressum:

Gewässerkundlicher Landesdienst Thüringen:

„Anforderungen an Hydrologische Gutachten“ (Fassung: November 2009; 11 Seiten, 2 Anlagen)

Bearbeitung: Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG)

Abteilung 5 Wasserwirtschaft

Referat 51 Gewässerkundlicher Landesdienst, Hochwassernachrichtenzentrale

Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie,  
Göschwitzer Straße 41, 07745 Jena  
Telefon (0 36 41) 68 40  
Telefax (0 36 41) 68 42 22  
E-Mail [poststelle@tlug.thueringen.de](mailto:poststelle@tlug.thueringen.de)

Bahnanschluss: Göschwitz (Stadtteil von Jena)  
Bus: Linie 13, Haltestelle  
Konrad-Zuse-Straße

Außenstelle Weimar  
Carl-August-Allee 8-10, 99423 Weimar  
Telefon (0 36 41) 68 40  
Telefax (0 36 41) 68 46 66  
E-Mail [poststelle@tlug.thueringen.de](mailto:poststelle@tlug.thueringen.de)

Bahnanschluss: Weimar Hauptbahnhof  
Bus: Linie 1, Carl-August-Allee

Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie,  
Staatliche Vogelschutzwarte Seebach  
Lindenhof 3, 99998 Weinbergen, Ortsteil Seebach  
Telefon (0 36 01) 44 05 65  
Telefax (0 36 01) 44 06 64  
E-Mail [vsw.seebach@tlug.thueringen.de](mailto:vsw.seebach@tlug.thueringen.de)  
Bahnanschluss: Bhf. Seebach  
Bus: Linie 141, 142 (von Mühlhausen  
und Bad Langensalza)

## Inhalt

	Seite
1. Zweck und Veranlassung . . . . .	4
2. Untersuchungen zu Hochwasserscheitelabflüssen HQ(T) . . . . .	4
2.1 Hochwasserstatistik auf der Grundlage von Messreihen . . . . .	4
2.2 Andere Verfahren zur Bestimmung von Hochwasserscheitelwerten HQ(T) . . . . .	4
3. Untersuchungen mit Niederschlag-Abfluss-Modellen . . . . .	5
3.1 Grundsätze . . . . .	5
3.2 Hinweise zum Einsatz von N-A-Modellen . . . . .	5
3.3 Ermittlung der Bemessungsniederschläge . . . . .	7
3.3.1 Niederschläge bis zum Wiederkehrintervall T= 100 Jahre . . . . .	7
3.3.2 Niederschläge mit einem Wiederkehrintervall T>> 100 Jahre . . . . .	7
3.3.3 Maßgebende Niederschlagsdauer . . . . .	8
4. Hydrologische Gutachten für die Hochwassernachweise von Talsperren (TS) und Hochwasserrückhaltebecken (HRB) . . . . .	8
Quellenverweise . . . . .	10

## Anlagen

Anlage 1: Hochwasserstatistik auf der Grundlage von Messreihen

Anlage 2: Zuordnung der Bodeneinheiten Thüringens in die SCS-Bodentypen-Klassifikation

## 1. Zweck und Veranlassung

Folgende Hinweise wurden mit dem Ziel zusammengestellt, bei der Erarbeitung von hydrologischen Gutachten und der Ermittlung von Hochwasserscheitelabflüssen mit Wahrscheinlichkeitsaussage, den sog. HQ(T)-Werten (T... Jährlichkeit bzw. Wiederkehrintervall), eine durch die fachtechnischen Behörden anerkannte Vorgehensweise zu erreichen.

Das Kapitel 2 behandelt verschiedene Verfahren zur Bestimmung von Hochwasserscheitelabflüssen. In aufwändigeren Fällen und zur Berechnung von Hochwasserganglinien sowie bei der Betrachtung von sehr kleinen Einzugsgebieten ohne auswertbare Messreihen oder Bezugswerte wird auf die Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen (N-A-Modelle) zurückzugreifen sein. Ausführungen dazu enthält das Kapitel 3.

Des Weiteren werden insbesondere im Kapitel 4 im Hinblick auf die Anwendung der geltenden Normen und Richtlinien für den Betrieb von Stauanlagen wichtige Hinweise für die Ermittlung der erforderlichen hydrologischen Bemessungswerte und Hochwassernachweise gegeben.

## 2. Untersuchungen zu Hochwasserscheitelabflüssen HQ(T)

### 2.1 Hochwasserstatistik auf der Grundlage von Messreihen

- Die hochwasserstatistische Auswertung von Messreihen umfasst die Aufbereitung und Prüfung von vorliegenden Datenkollektiven [7, 11, 14] sowie die Anpassung von analytischen Verteilungsfunktionen (VF) an diese aufbereiteten Datenkollektive [7]. Die dabei zu beachtenden Arbeitsschritte und Beispiele geeigneter Softwarelösungen für die Datenaufbereitung und Hochwasserstatistik sind in der Anlage 1 enthalten.
- Der Gewässerkundliche Landesdienst Thüringen hat für die zur Extremwertstatistik geeigneten Thüringer Pegel HQ(T)-Werte mittels HQ-Ex (Verfahren nach [7]) ermittelt (Auswertung für  $T \leq 1.000$  a). Auf Anforderung werden diese Daten von der TLUG bereitgestellt.
- Beim Erfordernis der Einbeziehung von Pegeln benachbarter Bundesländer ist die Extremwertstatistik bei den jeweils zuständigen Fachbehörden einzuholen und den Gutachten in nachvollziehbarer Form beizufügen.

### 2.2 Andere Verfahren zur Bestimmung von Hochwasserscheitelwerten HQ(T)

- Insbesondere zur Bestimmung von HQ-Werten mit  $T \gg 100$  a sind mehrere Verfahren parallel anzuwenden, beispielsweise:
  - Verfahren nach KLEEBERG/SCHUMANN [12, 13],
  - Regionalverfahren für HQ(T),
  - Extrapolation der Hochwasserstatistik (sh. Kapitel 2.1),
  - Schweizerisches Sicherheitskonzept [17],
  - N-A-Modelle (sh. Kapitel 3).
- Nach der Gegenüberstellung und Bewertung der HQ(T) der verschiedenen Verfahren sind vom Gutachter die plausibelsten Werte für die weitere Bearbeitung vorzuschlagen.
- Allgemein und flächendeckend akzeptierte HQ(T)-Regionalverfahren stehen für das Gebiet Thüringens zzt. nicht zur Verfügung. Durch den Gewässerkundlichen Landesdienst Thüringen

werden regional unterschiedlich nachfolgende Verfahren für interne HQ(T)-Abschätzungen herangezogen:

- Längsschnittbetrachtungen für Einzelgewässer,
- HQ-Regio (Anwendung insbesondere im Werragebiet),
- IsHoT/IsHoW,
- Verfahren nach LAUTERBACH/GLOS.

Diese Ansätze dienen den fachtechnischen Behörden v. a. zur Plausibilitätsprüfung von hydrologischen Gutachten und sind auf Grund der spezifischen Anwendbarkeit nur in Einzelfällen direkt in den Gutachten zu verwenden.

- Bezugs-HQ-Verfahren können für geeignete Anwendungsfälle aufgestellt werden, z. B. für ein größeres Gebiet mit einer repräsentativen Anzahl von Pegeln, für das an zahlreichen Querschnitten Bemessungskennwerte benötigt werden.
- Ein Thüringenweit einheitliches Regionalisierungsverfahren für HQ(T)-Scheitelwerte wird durch den Gewässerkundlichen Landesdienst Thüringen entwickelt und nach Fertigstellung allgemein verfügbar gemacht.
- Für eine Reihe von Flussläufen wurden durch den Gewässerkundlichen Landesdienst Thüringen HQ(T)-Längsschnitte erarbeitet ( $T \leq 100$  a). Sie sind auf den Internetseiten der TLUG veröffentlicht und können in die Gutachtenbearbeitung einbezogen werden.

### 3. Untersuchungen mit Niederschlag-Abfluss-Modellen [1, 2, 4, 5, 8]

#### 3.1 Grundsätze

- In Fällen, bei denen wegen fehlender Ausgangsdaten die unter Kapitel 2 genannten Methoden nicht angewendet werden können oder wenn Hochwasserganglinien benötigt werden (z. B. Bemessungsfall BHQ<sub>3</sub> für Speicherstandorte), kommen aufwändigere Untersuchungen mit N-A-Modellen in Frage. Ebenso wird ihre Anwendung in unbeobachteten Einzugsgebieten mit einer Größe  $A_E < 10$  bis  $20 \text{ km}^2$  grundsätzlich empfohlen.
- Generell ist zu beachten, dass die Extrapolation von Niederschlägen über den 100-jährlichen Niederschlag hinaus (sh. Kapitel 3.3) und ihre anschließende Transformation in Abflüsse (Abflussbeiwerte) mit Hilfe von N-A-Modellen zahlreiche, nur schwer abschätzbare Unsicherheiten aufweist. Es gibt derzeit keine Möglichkeit, die Vielzahl der Randbedingungen, die den Abflussbildungsprozess steuern, bei extremen Bedingungen physikalisch basiert abzubilden [8]. Die Nutzung von N-A-Modellen sollte deshalb nur zur Abschätzung der Größenordnung von Bemessungswerten für Talsperren bzw. zu Vergleichszwecken dienen.

#### 3.2 Hinweise zum Einsatz von N-A-Modellen

- Auswahl geeigneter Modellansätze mit Nachweis:
  - ihrer regionalen Anwendbarkeit,
  - der Anwendbarkeit für das zu modellierende Gebiet (Gebietsgröße/-charakteristik),
  - der Anwendbarkeit für das gewünschte Modellergebnis (z. B. Ganglinienbestimmung oder Berechnung großer T).

- Der Modellierungsaufwand ist in Abhängigkeit vom Gefährdungspotential des untersuchten Vorhabens zu betreiben (Kosten-Nutzen-Überlegung).
- Geeignete Modellansätze für die Abflussbildung können sein (Auswahl):
  - Ansatz nach LUTZ [16],
  - Bei Eignung: SCS-Verfahren [5, 8], vor allem für Oberflächenabfluss.  
Die Anlage 2 enthält eine Zuordnung der Bodeneinheiten (bzw. Leitbodenformen) Thüringens in die Bodentypen-Klassifikation des SCS-Verfahrens.
- Geeignete Modellansätze für die Abflusskonzentration können sein (Auswahl):
  - Isochronen-Methode [8],
  - Lineare Doppelspeicherkaskade nach WACKERMANN (DVWK-Empfehlung [5, 8]),
  - Standardeinheitganglinie nach VERWORN, HARMS [8],
  - Normierte Einheitganglinie bzw. lineare Speicherkaskade nach LUTZ [8, 16].
- Mögliche Vorgehensweise bei der Ermittlung von Bemessungsereignissen mit N-A-Modell:
  - Grundannahme: Ein Niederschlag mit einer Jährlichkeit T verursacht einen Abfluss mit der gleichen Jährlichkeit T.
  - Festlegung der T-jährlichen Niederschläge verschiedener Dauerstufen bis  $T = 100$  a (z. B. Nutzung von KOSTRA und REWANUS, sh. auch Kapitel 3.3),
  - Auswahl eines zeitlichen Niederschlagsverlaufs (z. B. mitten- oder endbetont bzw. DVWK-Empfehlung [5]; abweichende Niederschlagsverteilungen wie z. B. die Wahl eines Blockregens sind zu begründen),
  - Abflussbildung:
    - a) Ermittlung des Abflussbeiwertes in Abhängigkeit von der Jährlichkeit T (z. B. Koaxialdiagramm oder Regionalisierungsverfahren, sh. o.),
    - b) Auswahl eines zeitlichen Verlaufs für die Niederschlagsverluste (z. B.  $\Phi$ -Index, konstanter Prozentsatz mit/ohne Anfangsverlust, exponentieller Prozentsatz).
  - Abflusskonzentration: Berechnung des Direktabflusses mit Einheitganglinie aus Datenanalyse oder Regionalisierungsverfahren (sh. o.),
  - Maßgebende Niederschlagsdauer D bestimmen (sh. Kap. 3.3.3),
  - Wahl (Abschätzung) des Basisabflusses (z. B. im Bereich des MQ),
  - Ermittlung des Gesamtabflusses,
  - Festlegung der maßgebenden Abflussganglinie(n).
- Wenn möglich, Eichung des N-A-Modells an regional geeigneten Pegeln, um die Modelleingangsgößen abzusichern.
- Wenn möglich, Prüfung der Annahme, dass ein T-jährlicher Niederschlag einen T-jährlichen Abfluss erzeugt (z. B. anhand einer Pegelstatistik).
- Regionalverfahren für Ganglinien/Typganglinien können neben der N-A-Modellierung vergleichend herangezogen werden.
- Das hydrologische Modell J2000g (FSU JENA, TLUG) als raumbezogenes Informationssystem zur Wasserhaushaltsbilanzierung kann zur Bestimmung z. B. von mittleren Niederschlägen und Abflüssen (Komponenten: Direkt- und Gesamtabflussbildung, Grundwasserneubildung) verwendet werden. Ein Arbeitsstand der Modellergebnisse ist seit 2007 an der TLUG verfügbar und abfragbar. Zurzeit wird daran gearbeitet, auf Basis eines umfassenden Regionalisierungs-

werkzeuges einen internetbasierten Zugang für verschiedene Online-Auswertemöglichkeiten (Datenerstellung und Visualisierung) zu schaffen.

### 3.3 Ermittlung der Bemessungsniederschläge

#### 3.3.1 Niederschläge bis zum Wiederkehrintervall $T = 100$ Jahre

- Als Datengrundlage können folgende regionalisiert vorliegenden Niederschlagsauswertungen des DWD genutzt werden:
  - Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA: Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen) [10],
  - Regionalisierte Extremwerte des Niederschlagsdargebots aus Regen und Schneeschmelze (REWANUS) [9].
- Für KOSTRA liegen Daten als Niederschlagshöhe  $h_N$  in [mm] sowie als Niederschlagsspende  $r_N$  in [ $l/(s \cdot ha)$ ] für die Wiederkehrintervalle  $T = 0,5$  bis 100 a und Niederschlagsdauern von  $D = 5$  min bis 72 h vor.
- Für REWANUS liegen die Daten als Summe des Niederschlagsdargebotes aus Regen und Schneeschmelze in analoger Form wie bei KOSTRA vor, jedoch für die Niederschlagsdauern von  $D = 12$  bis 240 h.
- Bei Verwendung von KOSTRA-Daten ist zu beachten, dass die Auswertungen im KOSTRA-Atlas [10] auf dem Zeitraum 1951-2000 basieren. Sollten gebietsabhängig maßgebliche Starkregenereignisse nach dem Jahr 2000 aufgetreten sein, ist für dieses Gebiet eine aktualisierte Auswertung als gutachterliche Einzeluntersuchung für den Standort beim DWD einzuholen.

#### 3.3.2 Niederschläge mit einem Wiederkehrintervall $T \gg 100$ Jahre

- Niederschläge mit  $T \gg 100$  a können, wie in dem im Auftrag der LAWA durchgeführten Projekt PEN (Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags [15, 18]), durch eine Extrapolation der KOSTRA-Werte abgeleitet werden.

Die bisher vorliegende PEN-LAWA-Auswertung (2005, [15]) umfasst allerdings nur Niederschläge zweier Jährlichkeiten ( $T = 1.000$  und  $10.000$  a) und fünf, zudem höherer Dauerstufen  $D$  ( $D \geq 6$  h). Für eine Reihe von hydrologischen Fragestellungen ist das unzureichend. So erfordert die Stauanlagenbemessung je nach Talsperrenklasse die Betrachtung weiterer bzw. anderer Jährlichkeiten (z. B.  $T = 200, 500$  oder  $5.000$  a). Hinzukommt, dass in kleinen Einzugsgebieten zumeist Niederschlagsdauern kleiner als 6 Stunden maßgebend werden, welche außerhalb des vorliegenden Wertebereichs von PEN-LAWA liegen.
- Da PEN-LAWA-Werte nur in eingeschränktem Umfang zur Verfügung stehen, ist für Fälle außerhalb des Gültigkeitsbereichs sowie als generelles Alternativverfahren für die Extrapolation von Niederschlagswerten auf  $T \gg 100$  a das variierte PEN-Verfahren anzuwenden (in Anlehnung an [18]). Dabei sind die Niederschlagshöhen  $P(T)$  für  $T > 100$  a über einen vereinfachten Ansatz von  $-10\%$  bei  $P_{KOSTRA}(1)$  und  $+20\%$  bei  $P_{KOSTRA}(100)$  (anstatt wie im PEN-LAWA-Verfahren über die Klassenunter- bzw. Klassenobergrenzen und anschließender rasterfeldbezogenen Ausgleichsprozedur [15]) wie folgt zu ermitteln<sup>1</sup>:

---

<sup>1</sup> Hinweis: Die hier vorgegebene Formel ist nicht identisch mit der in der ersten Fassung der „Anforderungen an Hydrologische Gutachten“ (GEWÄSSERKUNDLICHER LANDESDIENST THÜRINGEN, Mai 2005) veröffentlichten Variante. Der aktuelle Ausdruck beinhaltet eine durchgehende Modifizierung des  $P_{KOSTRA}(1)$ -Wertes gemäß PEN-Verfahren.

$$P(T) = P_{KOSTRA}(1) \cdot 0,9 + [w \cdot \ln(T)] \quad \text{mit} \quad w = \frac{[P_{KOSTRA}(100) \cdot 1,2] - [P_{KOSTRA}(1) \cdot 0,9]}{\ln(100)}$$

Bei signifikanten Abweichungen (> 10 %) zwischen den Werten von PEN-LAWA und variiertem PEN-Verfahren sollte eine Angleichung erfolgen.

Die Methode wird nur auf KOSTRA-Werte angewandt, weil derzeit davon auszugehen ist, dass sehr extreme Niederschlagsdargebote (REWANUS, aus Schneeschmelze und Regen) nicht zu noch größeren extremen Abflüssen führen, als jene, die auf der Basis sorgfältig errechneter, extremer Starkniederschlagshöhen (KOSTRA, aus Regen) ermittelt wurden.

### 3.3.3 Maßgebende Niederschlagsdauer

- Bei der Bearbeitung von Niederschlag-Abfluss-Modellen sind generell mehrere Niederschlagsdauern D zu untersuchen, da die Maxima der Abflussscheitelwerte und Abflussfüllen jeweils bei anderen Niederschlagsdauern auftreten können.
- Für hydrologische Gutachten zur Bemessung von Kreuzungsbauwerken (z. B. Brücken), Querbauwerken (z. B. Wehre), Hochwasserschutzanlagen (Deiche, Ufermauern), Ein- und Auslaufbauwerken ist diejenige Niederschlagsdauer maßgebend, die den maximalen Scheitelwert in der Abflussganglinie produziert.

Die Plausibilität der ermittelten maßgebenden Niederschlagsdauer sollte durch den Vergleich mit einer Fließzeitabschätzung im Hauptgewässer überprüft werden.

- Für Gutachten zum Nachweis der Hochwassersicherheit und Hochwasserschutzwirkung von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken wird die Ermittlung der maßgebenden Niederschlagsdauer(n) im Kapitel 4 behandelt.

## 4. Hydrologische Gutachten für die Hochwassernachweise von Talsperren (TS) und Hochwasserrückhaltebecken (HRB)

- Bei der Bestimmung der notwendigen Bemessungszuflüsse sind die Festlegungen der DIN 19700 (2004) [3] und ThürTA-Stau (2005) [20] zu beachten.
- Nach DIN 19700 [3] sind für insgesamt drei Hochwasserbemessungsfälle (HWBF) die entsprechenden Nachweise zum Hochwasserregime zu führen:

*Hochwassersicherheit:*

- HWBF1 DIN 19700 Teil 10, Abschnitt 6.3.2,
- HWBF2 DIN 19700 Teil 11, Abschnitt 4.3.1.

*Hochwasserschutz:*

- HWBF3 DIN 19700 Teil 10, Abschnitt 6.3.3 und  
DIN 19700 Teil 11, Abschnitt 4.3.2.

- Die anzusetzenden Bemessungshochwasserwerte in Form der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten bzw. des Wiederkehrintervalls T für die HWBF 1 und 2 sind für die Talsperrenklassen 1 und 2 in DIN 19700 Teil 11, Abschnitt 4.3.1 genannt [3]. Für Hochwasserrückhaltebecken werden in der DIN 19700 Teil 12, Tabelle 1 drei Kategorien (große, mittlere/kleine und sehr kleine HRB) ausgewiesen [3].



In der für Thüringen zusätzlich zu beachtenden Vorschrift ThürTA-Stau [20] erfolgt eine weitergehende Differenzierung in die Klassen 1 bis 4 sowohl für Talsperren als auch für Hochwasserrückhaltebecken (sh. [20] Abschnitte 1.1.4, 1.1.5 und 2.2.1).

- Wenn plausible Ergebnisse zu den Scheitelwertermittlungen HQ(T) aus den Verfahren nach Kapitel 2.1 und 2.2 vorliegen und wegen geringer Effekte bei der Wirkung des gewöhnlichen und außergewöhnlichen Hochwasserrückhalteraaumes auf eine Retentionsberechnung (Ganglinien) verzichtet werden kann, ist die zusätzliche Erstellung eines N-A-Modells nicht erforderlich.

In diesem Fall können die Nachweise für die HWBF 1 und 2 lediglich mit den Scheitelwerten geführt werden (Abgabescheitel = Zuflussscheitel) (sh. [3] Teil 10, Abschnitt 5.3 vierter Absatz i. V. m. Teil 11, Abschnitt 4.3.1 erster Absatz). Ein Nachweis für den HWBF 3 entfällt (sh. [3] Teil 10, Abschnitt 6.3.3 i. V. m. Teil 11, Abschnitt 4.3.2).

- Sind mit den Verfahren nach Kapitel 2.1 und 2.2 keine plausiblen Ergebnisse zu erzielen (z. B. beim Fehlen geeigneter Bezugspegel oder regionalisierter Ansätze), ist zusätzlich ein N-A-Modell für das Einzugsgebiet der Talsperre bzw. des Hochwasserrückhaltebeckens zu erstellen. Diese Notwendigkeit ist gleichermaßen gegeben, wenn Retentionsnachweise für die HWBF 1, 2 und/oder 3 erforderlich sind.

Hierfür lässt sich zunächst kein maßgebender Wert für die Niederschlagsdauer angeben. Durch Retentionsberechnungen ist aus mehreren Ansätzen der Niederschlagsdauer diejenige Kombination von Hochwasserscheitel und Hochwasserfülle zu ermitteln, die im Speicher unter Berücksichtigung der für den jeweiligen HWBF zulässigen Abgaben die höchsten Beckenwasserstände ZH ergeben (für HWBF 1 und 2 sh. [3] Teil 11, Tabelle 1; für HWBF 3 sh. [3] Teil 10, Abschnitt 6.3.3 und Teil 11, Abschnitt 4.3.2). Beim HWBF 3 bedeutet das noch zusätzlich die Untersuchung mehrerer Wiederkehrintervalle.

- Zu beachten:

Gutachten, für die lediglich Scheitelwerte/Füllen in Auftrag gegeben wurden, können somit nur bedingt zu definierten Werten führen. Bei Notwendigkeit von Retentionsberechnungen zur Ermittlung der Hochwasserstauziele ZH können diese Gutachten (als erster Teil eines Gesamtgutachtens) nur mit einer Gruppe von Scheitelwerten und Füllen abschließen.

- Weitere Hinweise:

- Zur Abschätzung des Restrisikos sind HQ-Werte, erforderlichenfalls bis zum PMF (Probable Maximum Flood), zu ermitteln. Hierzu kann auch der maximierte Gebietsniederschlag (MGN) herangezogen werden [6].
- Bei Speicherberechnungen sollte die maßgebende Abflussganglinie nach verschiedenen Wellenformen modifiziert werden. Die mögliche Variabilität von Zufluss, Abfluss, Speicherinhalt sowie die Leistungsfähigkeit von Grundablass und Überlauf sind zu berücksichtigen.
- Ein (Sicherheits-)Zuschlag auf Grund möglicher zukünftiger Klimaverschiebungen mit erhöhten Abflüssen soll in den hydrologischen Gutachten nicht berücksichtigt werden. Entsprechende Zuschläge erfolgen nach [20] erst bei der technischen Planung der vorgesehenen Maßnahmen (z. B. Zuschläge auf die Größe des Hochwasserrückhalteraaumes bei Speicherbauwerken).

## Quellenverweise

- [1] BfG [Hrsg.: BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE] (2002): Mathematisch-numerische Modelle in der Wasserwirtschaft – Handlungsempfehlungen für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Mitteilung der BfG Nr. 24, Koblenz.
- [2] BMU [Hrsg.: BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT] (1997): Stand und Einsatz mathematisch-numerischer Modelle in der Wasserwirtschaft. Bonn.
- [3] DIN [Hrsg.: DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e. V.] (2004): DIN 19700 Stauanlagen, Teile 10 bis 15. Berlin.
- [4] DVWK [Hrsg.: DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e. V.] (1982): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten, Teil I Analyse. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft Heft 112/1982, Bonn.
- [5] DVWK [Hrsg.: DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e. V.] (1984): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten, Teil II Synthese. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft Heft 113/1984, Bonn.
- [6] DVWK [Hrsg.: DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e. V.] (1997): Maximierte Gebietsniederschlagshöhen für Deutschland. DVWK-Mitteilungen Heft 29, Bonn.
- [7] DVWK [Hrsg.: DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e. V.] (1999): Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft Heft 251/1999, Bonn.
- [8] DVWK [Hrsg.: DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e. V.] (1999): Hochwasserabflüsse. DVWK-Schriften Heft 124, Bonn.
- [9] DWD [Hrsg.: DEUTSCHER WETTERDIENST] (2000): Regionalisierte Extremwerte des Niederschlagsdargebots aus Regen und Schneeschmelze für Deutschland, REWANUS-Atlas 2000 (Regionalisierung der Extremwerte der Wasserabgabe aus Niederschlag und Schneedecke). DWD, Berlin.
- [10] DWD [Hrsg.: DEUTSCHER WETTERDIENST] (2005): KOSTRA-DWD 2000 (Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen). Software/Vertrieb: itwh, Hannover. Enthalten: BARTELS, H. u. a.: Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951-2000), Grundlagenbericht und Fortschreibungsbericht. DWD, Offenbach am Main.
- [11] DYCK, S. u. a. (1980, 2. Aufl.): Angewandte Hydrologie, Teil 1: Berechnung und Regelung des Durchflusses der Flüsse. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin.
- [12] KLEEBERG, H.-B. & A. H. SCHUMANN (2001): Ableitung von Bemessungsabflüssen kleiner Überschreitungswahrscheinlichkeiten. Wasserwirtschaft 91 (2): 90 - 95.
- [13] KLEEBERG, H.-B. & A. H. SCHUMANN (2001): Zur Ableitung von Hochwasserabflüssen geringer Überschreitungswahrscheinlichkeiten, Berichtigung. Wasserwirtschaft 91 (12): 608.
- [14] LAWA [Hrsg.: LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER] (1997): Pegelvorschrift. Berlin, Bonn.

- [15] LAWA [Hrsg.: LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER] (2005): PEN-LAWA 2005 - Ergebnisse des Projekts PEN des Instituts für Wasserwirtschaft der Leibniz Universität im Auftrag der LAWA. Software/Vertrieb: itwh, Hannover. Enthalten: VERWORN, H.-R. & U. KUMMER (2003/2006): Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN), Bericht.
- [16] LUTZ, W. (1984): Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen. Dissertation. Mitteilungen Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft Heft 24, Universität Karlsruhe.
- [17] MUTH, W. u. a. (1996, 2. Aufl.): Hochwasserrückhaltebecken – Planung, Bau und Betrieb. Enthalten: BIEDERMANN, R.: Sicherheit von Hochwasserrückhaltebecken – schweizerisches Sicherheitskonzept. Kontakt & Studium Bd. 341. expert-Verlag, Renningen-Malmsheim.
- [18] STALMANN, V. u. a. (2004): Das Niederschlagsregelwerk für die Deutsche Wasserwirtschaft. Wasserwirtschaft 94 (10): 8-27.
- [19] TLU [Hrsg.: THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR GEOLOGIE] (2000): Die Leitbodenformen Thüringens. Geowissenschaftliche Mitteilungen von Thüringen, Beiheft 3, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Weimar.
- [20] TMLNU [Hrsg.: THÜRINGER MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, NATURSCHUTZ UND UMWELT] (2005): Thüringer Technische Anleitung Stauanlagen ThürTA-Stau: 2005-06 (berichtigte und ergänzte Fassung 2007-05). Erfurt.

## Hochwasserstatistik auf der Grundlage von Messreihen

### 1. Aufbereitung und Prüfung der Datenkollektive [7, 11, 14]:

- Aufstellung von jährlichen Serien HQ(a) aus den Jahreshöchstwerten einer Datenreihe oder partiellen Serien HQ(p) (Schwellenwertstatistik; vor allem, wenn es um die Ermittlung kleinerer HQ(T) geht),
- Literaturrecherchen (Jahrbücher, Hochwasserauswertungen, Hochwassermarken),
- Prüfung der aufgestellten Serien auf:
  - a) Konsistenz: keine Messfehler, Stationsverlegung, Ausreißer,
  - b) Homogenität: keine Naturkatastrophen, allmähliche Veränderungen (Trend), anthropogene Eingriffe (z. B. Talsperren),
  - c) Repräsentanz: *räumlich* (genügend, gut verteilte Stationen bzw. Übertragung zwischen Messstation und Begutachtungsquerschnitt möglich?),  
*zeitlich* (Messung lang genug?, Einbeziehung historischer Hochwasser gemäß [7] prüfen),
  - d) Unabhängigkeit der einzelnen Daten voneinander (v. a. bei mehrgipfeligen Hochwasserwellen, die über den hydrologischen Jahreswechsel hinaus andauern sowie bei Schwellenwertstatistik),
- ggf. Datenergänzung und Lückenfüllung (z. B. durch Regression mit geeigneten Nachbarpegeln oder Verwendung eines angeeichten N-A-Modells).

### 2. Anpassung von analytischen Verteilungsfunktionen (VF) an aufbereitete Datenkollektive [7]:

- Eintragung der Daten in ein Wahrscheinlichkeitsnetz (mehrere empirische VF = „plotting position“ möglich),
- Anpassung mehrerer analytischer VF in Kombination mit mehreren Parameterschätzmethoden (SM) gemäß [7],
- Bewertung der Anpassungen über Gütekriterien (insbesondere  $n\omega^2$ -Anpassungstest und/oder Quantilkorrelation  $r_p$ ) und eine visuelle Einschätzung (v. a. für den Bereich größerer T),
- Auswahl der geeignetsten Kombination VF/SM und Ableitung der gesuchten HQ(T).

### 3. Beispiele geeigneter Softwarelösungen für Datenaufbereitung und Hochwasserstatistik:

- HQ-Ex (Firma WASY, Dresden):
  - Programm zur Umsetzung von [7],
  - Trendanalyse,
  - Anpassung von sieben VF in Kombination mit drei SM,
  - Bewertung der Anpassung über drei Prüfgrößen.
- Programm „Extrem“, Softwarepaket „Hochwasseranalyse“ (INSTITUT FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURTECHNIK, UNIVERSITÄT KARLSRUHE):
  - Anpassung von 16 VF in Kombination mit zwei SM,
  - Bewertung der Anpassung über zwei Prüfgrößen.
- Programm „Linreg“, Softwarepaket „Hochwasseranalyse“ (INSTITUT FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURTECHNIK, UNIVERSITÄT KARLSRUHE):
  - Berechnung von linearen/linearisierten Regressionen und Trends.
- Programm IsHoT/IsHoW (INSTITUT FÜR ANGEWANDTE WASSERWIRTSCHAFT, München):
  - Homogenitätsanalyse, Trendanalyse, Sprunganalyse,
  - Anpassung von 23 VF in Kombination mit drei SM,
  - Bewertung der Anpassung über drei Prüfgrößen.

### Zuordnung der Bodeneinheiten Thüringens in die SCS-Bodentypen-Klassifikation

- Im SCS-Verfahren (in: DVWK-Regeln 113/1984, [5]) werden ausgehend von den Bodenarten folgende vier Bodentypen hinsichtlich ihres Versickerungsvermögens bzw. der Abflussbereitschaft unterschieden:
  - Bodentyp A: Böden mit großem Versickerungsvermögen, auch nach starker Vorbefeuchtung; z. B. tiefe Sand- und Kiesböden.
  - Bodentyp B: Böden mit mittlerem Versickerungsvermögen, tiefe bis mäßig tiefe Böden mit mäßig feiner bis mäßig grober Textur; z. B. mitteltiefe Sandböden, Löss, (schwach) lehmiger Sand.
  - Bodentyp C: Böden mit geringem Versickerungsvermögen, Böden mit feiner bis mäßig feiner Textur oder mit wasserstauender Schicht; z. B. flache Sandböden, sandiger Lehm.
  - Bodentyp D: Böden mit sehr geringem Versickerungsvermögen, Tonböden, sehr flache Böden über nahezu undurchlässigem Material, Böden mit dauernd sehr hohem Grundwasserspiegel.
- Zuordnung der Thüringer Bodeneinheiten/Leitbodenformen (Grundlage: Bodengeologische Übersichtskarte im Maßstab 1: 100.000, [19]\*) in die Bodentypen-Klassifikation des SCS-Verfahrens:

Bodeneinheit/Leitbodenform		Bodentyp nach SCS
Symbol	Bezeichnung	
lg1	Lehm, steinig, grusig (Schieferschutt)	B
lg2	Sandiger Lehm, steinig (Schiefer-Quarzit-Schutt)	B
lg3	Lehm, steinig, grusig (Schiefer-Diabas-Schutt)	B
lg4	Skelettboden, lehmig (Schieferschutt der Steilhänge)	B
g1	Sandiger Lehm, grusig, steinig (saure kristalline Gesteine)	B
g2	Skelettboden, lehmig, grusig (saure kristalline Gesteine)	B
m	Sandiger Lehm, steinig (basische Eruptiva)	B
p1	Sandiger Lehm, steinig, grusig (saure Eruptiva)	B
r2	Skelettboden, lehmig, sandig (Rotliegendensedimente)	B
k1	Lehm - Schwarzerde (vorwiegend Sedimente des Unteren Keupers)	B
k3	Lehm, steinig (Zechsteinsedimente)	B
k3g	Lehm, stark steinig (Zechsteinsedimente)	B
k4	Lehm, tonig, steinig (Sedimente des Mittleren Muschelkalkes)	B
k5	Lehm, stark steinig (Sedimente des Unteren Muschelkalkes)	B
s1	Sandiger Lehm (vorw. Sedimente des Unteren Buntsandsteins)	B
s2	Lehmiger Sand (vorw. Sedimente des Mittleren Buntsandsteins)	B
s4	Sandiger Lehm bis Lehm (sandige Sedimente des Keupers)	B
b1	Lehm, steinig, grusig (Basalt)	B
b2	Skelettboden, lehmig, grusig, blockhaltig (Basalt)	B
ds1	Lehm - Schwarzerde (über Sand oder Kies)	B
ds2	Sandig-lehmiger Kies	B
ds31	Sandiger Lehm - Braunerde (über Kies)	B
ds4	Sandig-lehmiger Kies (Tertiär)	B
...		

\* Die Bodengeologische Übersichtskarte Thüringens liegt digital im Maßstab 1:100 000 vor. Eine Anpassung an die aktuelle Topographie der TK 50 wird für die Auenbereiche 2010 fertig gestellt.

Die Leitbodenformen stellen eine Aufzählung von Bodentypen und Bodenarten dar, die innerhalb der Flächeneinheiten auftreten können. Flächengenaue Ableitungen für das Versickerungsvermögen (bodenkundlich ist darunter die Wasserleitfähigkeit von wassergesättigten Böden - der kf- Wert - zu verstehen) sind nur mit Hilfe örtlich zutreffender Bodendaten möglich. Das gilt insbesondere für nicht land- oder forstwirtschaftlich genutzte Flächen, bei denen die anthropogene Nutzung über den Versiegelungsgrad die Wasserleitfähigkeit der Böden stark beeinflusst. Hier kann methodisch über die Biotop- und Nutzungstypen eine Aussage getroffen werden. Eine geteilte Zuordnung der Leitbodenformen zu den Bodentypen A bis D, auch in Bezug auf die Polygone der Bodengeologischen Übersichtskarte, ist deshalb nicht empfehlenswert.

Gewässerkundlicher Landesdienst Thüringen:  
„Anforderungen an Hydrologische Gutachten“ (Nov. 2009)  
- Anlage 2 -

Bodeneinheit/Leitbodenform		Bodentyp nach SCS
Symbol	Bezeichnung	
dm1	Lehm - Schwarzerde (Geschiebemergel)	B
dloe1	Sandlöss	B
loe1	Löss - Schwarzerde	B
loe2	Löss - Schlämmschwarzerde	B
loe3	Löss - Schlämmschwarzerde (über Muschelkalk, tonig)	B
loe4	Löss - Fahlerde	B
loe4k	Löss - Fahlerde (- Staugley) (vorwiegend über Muschelkalk)	B
loe5	Löss - Staugley	B
loe6	Löss, sandig - Braunerde/ - Parabraunerde	B
loe6s	Löss, sandig - Braunerde/ - Parabraunerde (über Buntsandstein)	B
loe7	Löss - Feuchtschwarzerde (über Sand, Kies)	B
loe8	Löss-Griserde und Löss-Parabraunerde	B
lloe	Hanglehm, lössartig	B
lg5	Lehm, tonig-Staugley (Schieferzersatz)	C
g3	Lehm, steinig, tonig - Staugley (Zersatz saurer kristalliner Gesteine)	C
p2	Skelettboden bis steiniger, sandiger Lehm (saure Eruptiva)	C
r1	Sandiger Lehm, steinig (Rotliegendensedimente)	C
r3	Lehm, steinig, tonig - Staugley (zersetzte Rotliegendensedimente)	C
k2	Lehm, steinig (vorwiegend Sedimente des Unteren Keupers)	C
s3	Sand, lehmig - Staugley (Sedimente des Unt. u. Mittl. Buntsandst.)	C
ds32	Kiesiger Lehm - Staugley (über Altpleistozän)	C
ds5	Lehm - Feuchtschwarzerde (über Sand, Kies, Mergel)	C
ds6	Lehm, tonig - Feuchtschwarzerde (über Sand, Kies, Mergel)	C
dm2	Sandiger Lehm, kiesig (Geschiebemergel)	C
dm3	Lehm - Staugley (Geschiebelehm)	C
dloe2	Sandlöss-Staugley	C
loe1h	Löss - Feuchtschwarzerde (Kolluvium)	C
loe9	Löss-Braunstaugley	C
lgloe	Lehm, lössartig - Staugley (Braunerde) (über Schiefergestein)	C
h2l	Lehm - Vega (Auelehm über Sand, Kies)	C
h2s	Sandiger Lehm - Vega (Auelehm über Sand, Kies)	C
h2t	Lehm, tonig - Vega (Auelehm über Sand, Kies)	C
h3l	Lehm - Vega (Nebentäler)	C
h3s	Sand bis sandiger Lehm - Vega (Nebentäler)	C
h3t	Lehm, tonig - Vega (Nebentäler)	C
h4	Lehm, tonig - Anmoorgley (Schieferzersatz)	C
hk	Kalktuff - Rendzina	C
Kp	Lehmige bis tonige Kippsubstrate	C
t1	Ton - Schwarzerde (vorwiegend Sedimente des Mittleren Keupers)	D
t1h	Ton - Feuchtschwarzerde (vorw. Sedimente des Mittl. Keupers)	D
t2	Ton, lehmiger Ton (vorwiegend Sedimente des Mittleren Keupers)	D
t3	Ton, lehmiger Ton (Sedimente des Oberen Buntsandsteins)	D
t3g	Ton, lehmiger Ton, steinig (Sedimente des Oberen Buntsandsteins)	D
t4	Ton, lehmiger Ton (tonige Sedimente des höheren Zechsteins)	D
tk	Ton, lehmig, steinig (Sedimente des Oberen Muschelkalkes)	D
tkg	Ton, lehmig, stark steinig (Sedimente des Oberen Muschelkalkes)	D
b3	Lehm, tonig, steinig - Staugley (Basaltzersatz)	D
h1a	Lehm, tonig - Schwarzgley (über Mergel, Ton, Torf, mäßig vernässt)	D
h1g	Lehm, tonig - Schwarzgley (über Mergel, Ton, Torf, stark vernässt)	D
h1t	Ton, lehmig - Schwarzgley/ - Staugley (über Oberem Muschelkalk)	D
h4s	Sand, lehmig - Anmoorgley (Zersatz Unt. u. Mittl. Buntsandstein)	D
h4t	Ton, lehmig - Anmoorgley (Zersatz toniger Triassedimente)	D
hm1	Torf - Moorgley (über Ton, Schluff, Mergel)	D
hm2	Torf - Gleyanmoor (über Buntsandstein- bzw. Schieferzersatz)	D
hm3	Torf - Gleyanmoor (über Schutt bzw. Zersatz paläozoischer Gesteine)	D